

Kajian Teknis dan Ekonomis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro-Hidro di Bali

Made Suarda

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung.
email: made.suarda@me.unud.ac.id

Abstrak

Konsumsi energi khususnya energi listrik terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk yang menyebabkan masalah penyediaan energi di masa datang. Untuk merespon kondisi keenergian tersebut, perlu dikembangkan pemanfaatan sistem energi terbarukan yang memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan. Potensi sumber energi terbarukan yang mungkin dikembangkan di Bali antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Pembangkit Listrik Tenaga Samudera, dan Biomasa. Salah satu jenis sumberdaya energi terbarukan yang sangat berpotensi untuk dikembangkan di Bali adalah energi air (hydropower) yang dalam skala sangat kecil disebut microhydro. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) bekerja dengan memanfaatkan suatu aliran sungai yang memiliki debit dan beda ketinggian (head). Untuk mengkaji lebih lanjut diperlukan kajian baik secara teknis maupun ekonomis. Analisa teknis dilakukan dengan melakukan pengukuran debit aliran, head dan selanjutnya perhitungan potensi daya bangkitan, pemilihan turbin, generator dan sistem kontrol yang sesuai. Sedangkan analisa ekonomis dilakukan dengan menghitung estimasi biaya untuk pembangunan PLTMH, serta dengan Net Present Value (NPV) analisis dikaji apakah PLTMH ini layak dikembangkan atau tidak. Dari kajian yang dilakukan terhadap beberapa sumber aliran air yang terdapat di Bali, Bali memiliki cukup banyak potensi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) skala sangat kecil atau disebut Picohydro yang layak dikembangkan baik pada aliran sungai maupun pada aliran irigasi subak. Dari kajian finansial, PLTMH tersebut layak untuk dikembangkan (NPV bernilai positif) sepanjang memiliki head minimum 10 meter, sedangkan kapasitas aliran lebih berpengaruh pada besarnya daya bangkitan PLTMH. Namun dalam implementasinya, ada beberapa kendala dalam pemanfaatan sumber aliran tersebut sebagai pembangkit PLTMH, antara lain pemanfaatan lokasi tersebut untuk kepentingan lain seperti obyek pariwisata dan cagar alam budaya serta kurangnya pemahaman masyarakat tentang PLTMH, sehingga dibutuhkan sosialisasi kepada masyarakat.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, kajian teknis, Kajian ekonomis, Bali

Abstract

Appraisal of Technical and Economic Potential Micro Hydro Power in Bali

Energy consumption particularly on electrical energy is continuously rising as a result of economical rising and community development. Therefore it needs to be responded about this condition by developing renewable energy utilization which is available. Renewable energy resources are possibly developed in Bali such as solar energy, wind energy, hydropower, sea energy, and biomass. However, one of renewable energy resources that is mostly possible to be developed in Bali is hydropower in micro scale which is named microhydro. The microhydro works by using water flow which has debit and head. However, it needs an analysis both on technical and financial analysis. Technical analysis is carried out by checking debit and head of the water flow, and then calculates power would be generated, as well as the microhydro equipments such as a suitable chosen of turbine, generator, and control system. In other hand, financial analysis is carried out by estimating cost for construction the microhydro system, then by using Net Present Value (NPV) analysis to check that the system is profitable to be constructed. The result noted that Bali has some potential microhydro or pycydro that are profitable to be developed both on rivers and irrigations system. Financial analyses show that microhydro systems are profitable to be constructed (NPV is positive) as long as their heads are at least 10 meters, in other side, debit are more affected their generated powers. However, in their implementations, there are some barriers in utilize those water flow resources as microhydro systems, such as those sites were used for other objects for instant as tourism destinations, or for cultures conservation, and the communities have not knew the advantages of microhydro yet therefore it needs socialization to the communities.

Keywords: Microhydro, Technical analysis, Financial analysis, Bali

1. Pendahuluan

Di Bali kebutuhan energi khususnya energi dalam bentuk energi listrik, pasokan daya listrik untuk sistem kelistrikan Bali memiliki total daya terpasang sebesar 657 MW dengan total Daya Mampu 562 MW yang disuplai dari empat sumber yaitu interkoneksi Jawa-Bali 220 MW, PLTGU Gilimanuk 145 MW, PLTG/PLTD Pesanggaran 196 MW dan PLTG Pemaron 96 MW. Sedangkan beban puncak pada tahun 2006 adalah sebesar 426,20 MW (75% dari total Daya Mampu). Pada tahun 2007 prediksi beban puncak adalah 446 MW (80% dari total Daya Mampu), sehingga tenaga listrik cadangan yang tersedia hanya 116 MW (20%) yang berarti kurang dari 30% atau masuk kategori kritis. Kondisi ini terbilang kritis, karena bila pembangkit terbesar di Bali, PLTG Gilimanuk, yang memiliki daya 130 MW keluar dari sistem (misalnya terjadi kerusakan atau ada pemeliharaan/overhaul), maka cadangan daya minus 14 MW. Jika hal ini terjadi maka Bali akan mengalami pemadaman bergilir. Seperti yang terjadi pada akhir tahun 2009 ini, dimana terjadi perbaikan pada unit PLTG Gilimanuk tersebut maka PLN melakukan pemadaman bergilir dari bulan Nopember 2009 hingga bulan Januari 2010. Untuk itu penambahan pembangkit atau pasokan energi listrik baru mutlak dibutuhkan.

Untuk menuju diversifikasi energi pembangunan pusat pembangkit listrik diarahkan kepada pemanfaatan pembangkit listrik Non BBM antara lain sesuai potensi tenaga listrik yang ada di Bali yaitu PLTA dan PLTP. Berdasarkan data potensi alam di Bali terdapat beberapa alternatif pembangkit listrik seperti pengembangan PLT Angin di nusa Penida, PLT Surya di Kusamba, PLT Air di sungai Ayung dan sungai Unda, PLT Biomasa, PLTP di Bedugul, serta PLTU Batu bara di Celukan Bawang atau Kubu Karangasem yang sumber energi primernya didatangkan dari luar Bali.

Konsumsi energi khususnya energi listrik terus meningkat sejalan dengan laju pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk yang menyebabkan masalah penyediaan energi di masa datang. Untuk merespon kondisi keenergian tersebut, perlu dikembangkan pemanfaatan sistem energi terbarukan yang memiliki potensi yang sangat besar untuk dikembangkan. Salah satu jenis sumberdaya energi terbarukan yang termasuk dalam energi hijau adalah energi air (hydropower) yang dalam skala sangat kecil disebut microhydro (5 kW – 1 MW) atau bahkan disebut picohydro (100 W – 5 kW). Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya (resources) penghasil listrik adalah memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu dari instalasi. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan

untuk menghasilkan energi listrik. Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Banyak orang beranggapan untuk membuat pembangkit listrik harus dari air terjun alami, tidak selamanya demikian, beda tinggi (head) bisa diperoleh dengan membuat intake dari sungai dan mengalirkannya pada posisi yang tepat sehingga terbentuk ketinggian yang optimal. Instalasi pembangkit listrik mikrohidro menggunakan sumber daya yang telah disediakan oleh alam dan ramah lingkungan.

Bali memiliki cukup banyak aliran sungai yang perlu dikaji kemungkinan pengembangan PLTMH, walaupun tidak sebesar sungai di Sumatera atau Kalimantan namun cukup potensial untuk dikembangkan sebagai pembangkit PLTMH. Untuk mengetahui apakah aliran sungai ini bisa dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) perlu dilakukan kajian baik kajian teknis maupun kajian ekonomis. Kajian teknis meliputi survey hidrometri yaitu mengukur debit aliran sungai dan survey topografi seperti pengukuran tinggi air jatuh (Head), pengukuran situasi pada kedudukan bangunan Intake, rumah pembangkit (power house), jalur pipa/penstock, dan kedudukan turbin terhadap titik terjunan yang akan diambil sebagai pemutar turbin. Dari kedua survey ini selanjutnya dihitung aspek-aspek teknis yang dibutuhkan untuk perencanaan dimensi-dimensi utama sistem PLTMH. Sedangkan kajian ekonomis dilakukan menggunakan analisis Net Present Value (NPV) yaitu analisa finansial untuk mengevaluasi suatu sistem layak untuk dikembangkan atau tidak.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi sumber-sumber aliran air yang ada di Bali untuk dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro baik dari aspek teknis maupun ekonomis, serta untuk mendapatkan gambaran mengenai aspek-aspek teknis yang dibutuhkan untuk perencanaan dimensi utama sistem PLTMH dan aspek ekonomis mengenai layak tidaknya sistem PLTMH tersebut dilaksanakan.

2. Tinjauan Pustaka

Aliran air dari suatu ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Tenaga air (hydropower) dihasilkan dengan mengubah energi aliran air dengan kincir air atau turbin air menjadi tenaga mekanis yang berguna. Daya ini dapat dirubah menjadi tenaga listrik dengan menggunakan generator listrik atau dapat digunakan langsung untuk menggerakkan mesin penggiling, mesin gerinda dan lain sebagainya. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) memanfaatkan sumber daya air yang relatif kecil yang

sesuai untuk penggunaan secara perorangan atau sekelompok masyarakat, yang tidak terhubung dengan jaringan listrik PLN.

Pemanfaatan aliran air sungai sebagai pembangkit mikro hidro masih sangat sedikit yang telah dilakukan, untuk itu perlu digalakkan pelaksanaan kajian dan implementasinya. Sebagai contoh implementasi konstruksi pembangkit listrik tenaga mikro hidro yang telah ada adalah seperti terlihat pada gambar 1, yaitu PLTMH Ciakar-Cianjur Jawa-Barat. Pada PLTMH ini head sumber airnya adalah 20 meter dengan debit aliran air 400 liter/detik mampu menghasilkan daya listrik sebesar 40 kiloWatt.



Gambar 1. PLTMH di Jawa-Barat

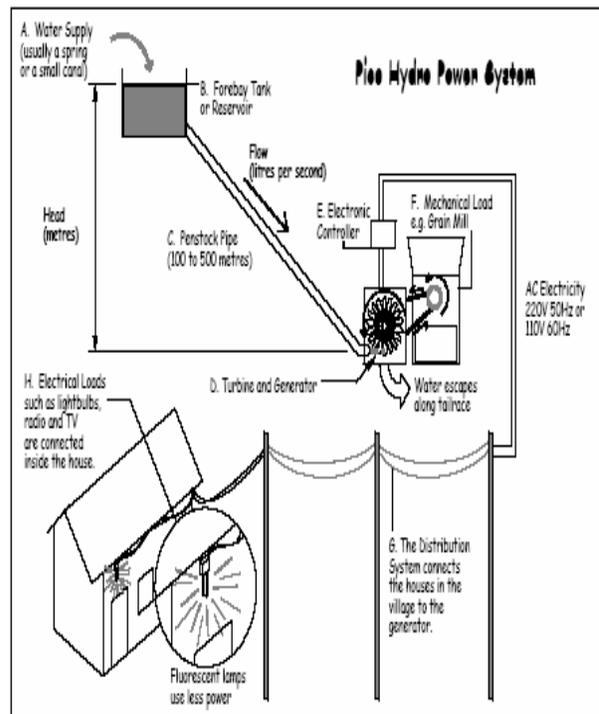
Skema sebuah sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ditunjukkan seperti gambar 2. Terdapat beberapa komponen yang merupakan bagian penting dari suatu sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), antara lain :

a. Sumber Air (Water Supply)

Sumber aliran air penggerak turbin PLTMH dapat berupa mata air atau sungai. Hal yang paling penting diperhatikan adalah debit sumber aliran air tersebut kontinyu sepanjang tahun. Dengan sumber air yang kontinyu maka bangunan intake/reservoir/forebay tank yang dibutuhkan tidak perlu besar.

b. Bangunan Intake / Forebay-Tank/Reservoir

Air dari suatu sumber dialirkan ke tangki/bendung untuk mengarahkan dan mengatur aliran air ke bangunan intake. Bangunan intake didesain untuk menjamin debit aliran air ke sistem microhydro sesuai dengan debit yang dibutuhkan.



Gambar 2. Skema Instalasi PLTMH

Sumber : Ketjoy P.L.N., and Rakwichian W., 2004

c. Pipa Pesat atau Penstock Pipe

Pipa penstock digunakan untuk mengalirkan air dari bak intake ke turbin, dimana energi potensial air dirubah menjadi energi kinetik untuk memutar turbin.

d. Powerhouse dan Tailrace

Adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi turbin, generator, dan unit kontrol. Powerhouse bisa dibuat sederhana namun fondasinya harus solid. Tailrace adalah adalah kanal untuk mengarahkan aliran air kembali ke saluran irigasi/sungai untuk pemanfaatan lebih lanjut.

e. Turbin

Air yang mengalir mempunyai energi hidrolis yang dialirkan ke suatu turbin. Turbin terdiri dari runner yang dihubungkan dengan poros adalah untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis atau daya poros. Turbin bisa dihubungkan langsung dengan generator atau melalui roda-gigi atau belt dan pulley, tergantung pada putaran turbin yang dihasilkan dan putaran generator yang harus diputar.

f. Generator

Generator mengubah energi mekanik (putaran poros) menjadi energi listrik. Ada dua tipe generator, yaitu generator synchronous dan asynchronous (umumnya disebut induction generator). Generator sinkron adalah standar generator yang digunakan dalam pembangkit daya listrik dan digunakan pada kebanyakan power plant. Semua generator harus digerakkan pada putaran konstan untuk menghasilkan daya yang konstan pada frekuensi 50 Hz. Untuk microhydro umumnya digunakan generator 4 kutub dengan putaran sekitar 1.500 rpm.

g. Drive Systems

Untuk menyesuaikan putaran generator dan turbin, pada umumnya pada sistem microhydro dibutuhkan belt dan pulley atau gearbox.

h. Controller

Turbin air, demikian pula mesin diesel atau bensin, putarannya akan bervariasi sesuai dengan beban yang diberikan. Variasi putaran ini akan sangat mempengaruhi frekuensi dan tegangan output generator yang seharusnya dijaga konstan. Untuk itu dibutuhkan suatu alat yaitu Electronic Load Controller (ELC) yang didesain untuk mengatur daya output sistem microhydro pada tegangan dan frekuensi yang konstan.

i. Jaringan Transmisi/Distribusi

Jaringan transmisi/distribusi digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari generator ke rumah-rumah penduduk. Cara umum yang digunakan untuk mentransmisikan energi listrik dari power house adalah dengan menggunakan kabel listrik.

Head aliran air akan sangat menentukan tipe dari turbin air yang sesuai untuk komponen PLTMH. Head total aliran adalah jumlah dari head statis dan head dinamis aliran termasuk head losses yang terjadi sepanjang aliran dalam suatu saluran/pipa.

$$H_t = (z_1 - z_2) + \left(\frac{p_1 - p_2}{\gamma}\right) + \left(\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}\right) + H_L \quad (1)$$

Dimana:

z_1 = head statis/elevasi permukaan air di bak intake (m)

z_2 = head statis/ elevasi permukaan air di bak *tailrace* (m)

p_1 = head statis tekanan air bak intake (N/m²)

p_2 = head statis tekanan air di bak *tailrace* (N/m²)

v_1 = head dinamis kecepatan air di bak intake (m/det)

v_2 = head dinamis kecepatan air keluar *tailrace* (m/det)

H_t = head total aliran air (m)

H_L = head losses total instalasi *penstock*/perpipaan sistem PLTMH (m)

Debit air pada suatu penampang aliran secara sederhana adalah perkalian antara luas penampang basah dengan kecepatan aliran rata-rata pada penampang tersebut. Seperti terlihat pada persamaan di bawah ini :

$$Q = AV \quad (2)$$

Dimana :

Q = debit air (m³/dt)

A = luas penampang basah (m²)

V = kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

Pemilihan turbin untuk lokasi tertentu tergantung pada karakteristik lokasinya, yaitu head (tinggi air jatuh) seperti pada Tabel 1. Pemilihan turbin juga tergantung pada kecepatan putar yang diinginkan oleh peralatan (beban) yang akan digerakkan oleh turbin. Pertimbangan lainnya seperti apakah turbin diharapkan untuk menghasilkan daya pada kondisi aliran sebagian/penuh juga memainkan peranan penting dalam pemilihan. Semua turbin mempunyai karakteristik power – speed, yang cenderung bekerja pada efisiensi optimal pada kecepatan-putar, kombinasi head dan kapasitas aliran tertentu.

Tabel 1. Klasifikasi turbin air

Turbine Runner	High Head (more than 100 m)	Medium Head (20 to 100 m)	Low Head (5 to 20 m)	Ultra-Low Head (less than 5 m/)
Impulse	Pelton Turgo	Cross-flow Turgo Multi-Jet Pelton	Cross-flow Multi-Jet Turgo	Water Wheel
Reaction	-	Francis Pump-as-Turbin	Propeller Kaplan	Propeller Kaplan

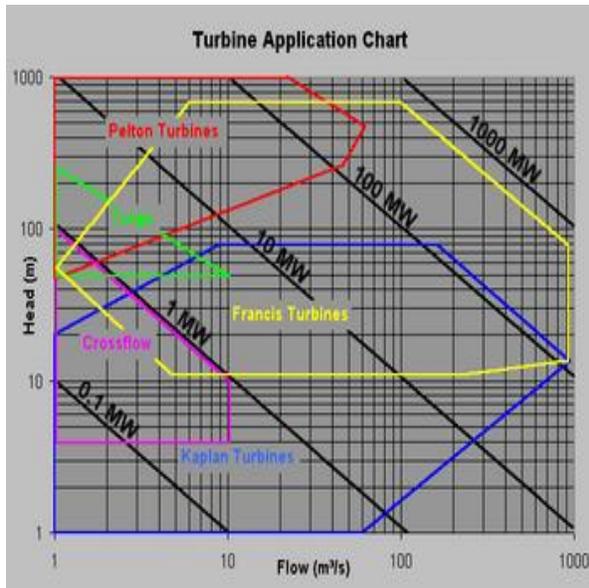
Sumber : *Natural Resources Canada, 2004*

Secara umum hasil survey lapangan mendapatkan potensi pengembangan PLTMH dengan tinggi jatuhnya (head) 6 - 60 m. Adapun daerah operasi dari masing-masing jenis turbin adalah seperti pada Tabel 2 dan Gambar 3.

Tabel 2. Daerah operasi turbin air

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Kaplan dan Propeller	2 ~ 20
Francis	10 ~ 350
Pelton	50 ~ 1000
Crossflow	6 ~ 100
Turgo	50 ~ 250

Sumber : ESDM, www.energiterbarukan.net



Gambar 3. Grafi k aplikasi turbin

Untuk dapat mengetahui daya potensial air dari suatu sumber adalah penting untuk mengetahui kapasitas aliran (m^3/det) dan *head* (m) yang tersedia. Daya ini akan dirubah oleh turbin air menjadi daya mekanik. Daya teoritis yang tersedia adalah [Dietzel, 1988] :

$$P_a = \gamma QH \tag{3}$$

Dimana :

- P_a = Daya teoritis yang tersedia (Watt)
- Q = Kapasitas aliran air (m^3/det)
- H = *Head* atau tinggi air jatuh (m)
- γ = Berat jenis air ($9.800 N/m^3$)

Daya output Generator dihitung berdasarkan persamaan:

$$P_{out} = \gamma QH \eta_{turbin} \eta_{transmisi} \eta_{generator} \tag{4}$$

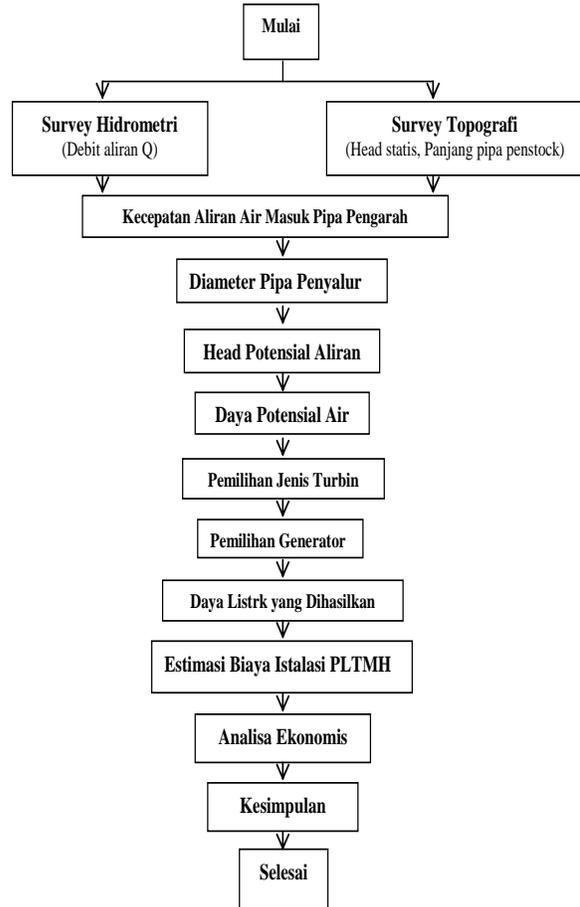
Dimana:

- η_{turbin} = efisiensi turbin
- $\eta_{transmisi}$ = efisiensi transmisi

$$\eta_{generator} = \text{efisiensi generator}$$

3. Metode

Adapun langkah-langkah penelitian digambarkan seperti skematik di bawah ini :



Gambar 4. Prosedur penelitian

Adapun langkah-langkah dalam perencanaan PLTMH adalah sebagai berikut:

Step-1 : Orientasi Awal

Cek apakah terdapat:

- a) Sumber air baik kapasitas dan head yang memadai sebagai pembangkit PLTMH
- b) Kebutuhan masyarakat terhadap daya listrik atau daya mekanik
- c) Kesanggupan masyarakat untuk membayar (*willingness to pay*)
- d) Kemampuan masyarakat lokal untuk mengatur sistem yang akan dibangun
- e) Jaringan PLN terdekat yang sudah ada atau direncanakan

Step-2 : Prakiraan Kelayakan Potensi Daya

Sumber Air

Buat estimasi awal potensi kapasitas dan head sumber air yang terdapat di areal lokasi yang direncanakan, kemudian estimasi apakah potensi air tersebut apakah layak/cukup untuk untuk menggerakkan sistem mikro hidro.

Step-3 : Survey Kebutuhan Daya Listrik

Estimasi jumlah rumah/bangunan yang terdapat pada radius satu kilometer dari lokasi PLTMH yang direncanakan, kemudian cek bangunan mana yang membutuhkan suplai daya listrik, dan cek kesanggupannya untuk membayar.

Step-4 : Survey Aktivitas Masyarakat

Cek kegiatan/aktivitas penduduk yang membutuhkan energi listrik dalam kesehariannya.

Step-5 : Estimasi Kapasitas PLTMH yang dibutuhkan

Estimasi kapasitas generator yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan daya listrik yang diinginkan, dan tentukan perkiraan biaya pembangunan PLTMH, sebagai estimasi adalah \$3.000,-/kW.

Step-6 : Viability Studi

Pilih kapasitas PLTMH yang sesuai dengan estimasi kebutuhan daya, kemudian bandingkan antara pendapatan tahunan dan biaya investasi. Sebagai acuan kasar kelayakan secara finansial adalah

- Jika pendapatan tahunan lebih kecil dari 10% biaya investasi, maka rencana PLTMH tidak layak
- Jika pendapatan tahunan adalah 10~25% biaya investasi, maka rencana PLTMH cukup layak
- Jika pendapatan tahunan lebih besar dari 25% biaya investasi, maka rencana PLTMH adalah sangat layak

Step-7 : Penentuan Kapasitas dan Head Desain

Tentukan kombinasi kapasitas (Q) dan head (H) yang dapat menghasilkan daya yang dibutuhkan sesuai dengan ketersediaan unit generator PLTMH yang tersedia di pasaran/pabrik. Jika dibutuhkan sebagai asumsi bahwa efisiensi total sistem PLTMH (Picohydro) adalah sekitar 45%.

Step-8 : Pertemuan dengan Masyarakat (Sosialisasi)

Presentasikan rencana dan potensi berdasarkan data-data survey yang telah didapat pada suatu pertemuan terbuka (sosialisasi) dengan masyarakat setempat dan pejabat terkait. Sampaikan seluruh informasi yang telah didapat/diestimasi. Overestimate biaya investasi dan underestimate daya bangkitan. Sarankan untuk memanfaatkan dan mengelola sistem baik secara perorangan atau kelompok, dan jelaskan

tanggungjawabnya serta kemungkinan biaya operasionalnya.

Step-9 : Survey Detail Lapangan (Hidrometri, Topografi, Geologi, dsb)

Lakukan survey lapangan secara rinci/detail, yaitu tentang:

- Kapasitas dan head aliran air yang tersedia apakah sesuai dengan head yang dibutuhkan
- Panjang pipa pesat/penstock, dan kemungkinan jalur terpendek serta kemungkinan menggunakan saluran kanal
- Apakah alirannya kontinyu sepanjang tahun termasuk kapasitas yang dibutuhkan, atau perlu bak penampung berupa bendung/dam. Dapatkan informasi tersebut dari masyarakat setempat pula. Jika meragukan, cek pada akhir bulan kritis (musim panas) debit alirannya.

Step-10 : Penentuan Daya Listrik Output PLTMH

Berdasarkan hasil survey lapangan secara rinci dan akurat hitung kembali potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan PLTMH dan dimensi-dimensi utamanya.

Step-11 ; Penggambaran Situasi Lokasi (Site Plan Map)

Buat gambar berskala dari situasi lapangan berdasarkan hasil survey topography.

Step-12 : Skema Lay-Out Sistem PLTMH

Buat skema lay-out sistem PLTMH pada peta situasi lokasi dengan skala. Tulis panjang penstock, saluran-saluran dan potongan-potongan sistem distribusinya, posisi power house serta komponen-komponen lainnya. Cari alternatif terpendek untuk pipa penstock untuk mengurangi biaya investasi.

Step-13 : Prakiraan Biaya

Buat prakiraan biaya yang realistis terhadap seluruh komponen yang dibutuhkan, seperti : pipa penstock, turbin dan generator serta unit kontrolnya, sistem distribusi aliran listriknya, pekerjaan sipil seperti bak-intake dan power-house, dan pekerjaan penunjang lainnya. Tambahkan paling sedikit 5% biaya tambahan yang tidak terduga. Hubungi supplier-supplier yang dapat memberikan harga termurah tapi tidak mengurangi kualitas, dan lakukan negosiasi harga sampai yang termurah.

Step-14 : Kajian Finansial

Gunakan rencana anggaran biaya tersebut untuk mengkaji apakah PLTMH yang akan dibangun masih layak atau tidak secara finansial.

Step-15 : Kesepakatan Operasional

Fasilitasi perjanjian/kesepakatan antara pihak pengelola dan pihak masyarakat yang akan

memanfaatkan daya listrik yang dibangkitkan PLTMH, termasuk penentuan tarifnya per kWh.

Step-16 : Pemesanan Material/Barang

Lakukan pemesanan barang/komponen-komponen PLTMH yang dibutuhkan.

Step-17 : Pemasangan/Konstruksi

Pembangunan konstruksi sipil dan selanjutnya pemasangan komponen-komponen PLTMH yang telah tiba di lapangan.

Step-18 : Training Operator dan Pemakai

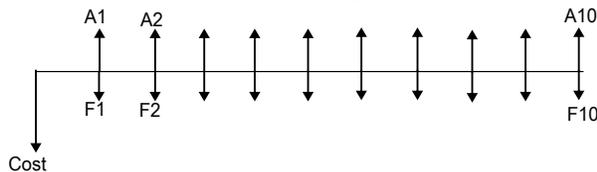
Latih operator lokal bagaimana cara mengoperasikan, memelihara dan menjaga keamanan sistem PLTMH, serta melatih manajerial pengelolanya. Training manajemen mencakup pemungutan pembayaran pemakai listrik oleh pelanggan dan pembayaran kredit jika ada, juga mengatur/menyiapkan biaya operasi dan pemeliharaan sistem PLTMH sehingga sistem dapat beroperasi lancar dan kontinyu. Termasuk pula, memberikan informasi kepada pihak pelanggan/ pemakai tentang keamanan dan manfaat energi listrik.

Step-19 : Kommisioning

Setelah sistem PLTMH dibangun, sebelum dioperasikan untuk pelayanan lakukan pengtesan-pengtesan atau kommisioning yang meliputi:

- a) Final Check
- b) Start-Up
- c) Pembebanan
- d) Pengaturan voltase dan frekuensi listrik
- e) Pengaturan *ballast-load*
- f) Operasional

Pada umumnya Net Present Value (NPV) digunakan sebagai analisa finansial untuk mengevaluasi suatu sistem layak untuk dikembangkan atau tidak. NPV investasi suatu proyek adalah nilai sekarang dari seluruh pemasukan di masa yang akan datang dikurangi nilai sekarang investasi dan seluruh pengeluaran di masa yang akan datang seperti biaya operasional. Jika nilai NPV positif berarti proyek tersebut menarik untuk dikembangkan.



Gambar 5. Diagram pemasukan dan pengeluaran

$$NPV = \frac{A \cdot [(1+i)^n - 1]}{i \cdot (1+i)^n} - \frac{F}{(1+i)^n} - Cost \quad (5)$$

dimana :

- Cost = Biaya pembangunan PLTMH
- F = Biaya operasional per tahun

- A = nilai jual listrik per tahun
- i = Tingkat suku bunga per tahun
- n = Lama periode (umur ekonomis PLTMH)

4. Hasil dan Pembahasan

Potensi tenaga air di Bali memang tidak ada yang dalam kapasitas yang sangat besar, karena di Bali tidak ada sungai-sungai besar seperti di Kalimantan atau sumatra. Namun, di Bali cukup banyak juga terdapat sumber-sumber energi air dalam kapasitas yang relatif kecil dan tersebar. Demikian juga telah terdapat beberapa bendungan air seperti Bendungan Palasari, Bendungan Telaga Tunjung dan beberapa bendungan yang masih dalam tahap perencanaan seperti Bendungan Kubutambahan di Singaraja. Bendungan tersebut utamanya adalah untuk menampung air dalam memenuhi kebutuhan air irigasi pertanian, akan tetapi aliran air tersebut mempunyai potensi tenaga air yang belum dimanfaatkan. Sebagai contoh, pada Bendungan Telaga Tunjung di Tabanan, bendungan tersebut pada kondisi normal akan mengalirkan air dengan kapasitas aliran 1,866 m3/det pada head 29 meter. Ini berarti bendungan ini mempunyai potensi tenaga air 530 kW (0,53 MW). Dan saat ini sedang didesain yaitu bendungan Telagawaja yang mempunyai kapasitas aliran 2 m3/det pada head 100 meter. Ini berarti bendungan ini mempunyai potensi tenaga air 1,96 MW, dan daya listrik bangkitan sekitar 1,5 MW.

Lebih jauh, potensi tenaga air yang belum dimanfaatkan adalah tenaga air yang berada di Sungai Ayung yang diperkirakan mempunyai potensi tenaga air sebesar 43,90 MW dan Sungai Tukad Unda diperkirakan sebesar 32,30 MW [Profil Energi Bali, 2005], serta banyak lagi sumber-sumber aliran air terjun yang ada di Bali. Namun untuk memanfaatkan energi aliran air pada sungai tersebut dibutuhkan biaya yang cukup tinggi dalam pembuatannya dan biaya pembebasan tanahnya serta permasalahan sosialnya.

Walau dengan kapasitas kecil-kecil, tetapi jika potensi-potensi sumber energi air tersebut dimanfaatkan secara maksimal tentunya akan berkontribusi secara signifikan terhadap pemenuhan kebutuhan energi di Bali. Dengan kapasitas debit yang kecil-kecil ini, sistem pembangkit yang cocok dikembangkan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) seperti terjunan air di areal Pura Goa Gajah, di Pura Samuan Tiga, dan aliran irigasi Subak Taman-Bali di Gianyar.

Diantara sungai-sungai yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) antara lain Sungai Yeh Penet dan Yeh Hoo di Tabanan, Sungai Kelampauk, Sungai Bingin, Sungai Oot, dan Sungai Sekumpul di Buleleng

dengan kapasitas aliran 0,8 m³/detik dan head 50 meter yang berarti daya yang mampu dibangkitkan adalah 184 kW, seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Air Terjun di Sungai Sekumpul

Sebagai contoh kajian teknis dan ekonomis PLTMH di Bali, disini akan dikaji potensi PLTMH yang kecil namun pada daerah tersebut sangat dibutuhkan energi listrik, yaitu Sungai Oot, aliran air di Pura Goa Gajah, dan di Pura Samuan Tiga, serta aliran air irigasi subak Taman-Bali.

Untuk di Sungai Oot seperti pada Gambar 7, dengan menggunakan altimeter diperoleh head yaitu perbedaan tinggi permukaan air teratas dengan rencana tempat turbin adalah 6 m. Jarak antara reservoir dengan rencana letak turbin adalah 13 m.

Adapun debit air (Qa) adalah 0,550 m³/dt. Maka debit desain yang dipakai dalam perencanaan adalah 70% dari debit air normalnya, Qd = 0,981 x 0,7 = 0,385 m³/dt. Hasil perhitungan memberikan bahwa:

- Diameter pipa penstock adalah 0,572 mm
- Daya potensial air adalah 22,078 kW
- Jenis turbin yang sesuai adalah Turbin Crossflow.
- Daya listrik output generator 13,507 kW
- Generator yang dipilih adalah generator sinkron, power: ≥ 20 kW (50% lebih besar dari daya bangkitan), Voltage: 380 - 415 Volt (3 phase), Frekuensi: 50 Hz (sesuai listrik PLN di Indonesia), Putaran: 1.500 rpm (4 kutub)
- Kontrol Beban adalah IGC (Induction Generator Controller).
- Sistem Transmisi Daya Listrik, kabel listrik diameter 16,7 mm².



Gambar 7. Sungai Oot

Kajian biaya (*initial cost*) untuk PLTMH ditampilkan pada Tabel 7. Dari Table 3 terlihat bahwa biaya pembangunan PLTMH dengan kapasitas bangkitan 13,5kW 14 kW adalah sekitar Rp. 15.934.000,00 per kW. Jika lifetime PLTMH diestimasi selama 10 tahun maka biaya pembangunan per kW per tahun adalah 1.594.400,00.

Tabel 3. Estimasi biaya pembangunan sistem PLTMH Sungai Oot

NO	KOMPONEN	BIAYA (Rp)
1	Pipa Pesat GIP φ600 mm, L = 13 mtr	7.150.000,00
2	Turbin Crossflow	77.000.000,00
3	Generator 14 kVA	29.350.000,00
4	Kontroler ELC	36.225.000,00
5	Ballast Load	4.725.000,00
6	Sistem Transmisi Daya listrik	16.986.800,00
7	Power House	50.500.000,00
8	Perlengkapan	1.143.250,00
JUMLAH BIAYA PEMBANGUNAN		223.080.050,00
BIAYA PEMBANGUNAN PER kW		15.934.000,00

* Estimasi lifetime PLTMH 10 tahun

Disamping biaya pembangunan (*capital cost*) tersebut di atas, juga dibutuhkan biaya operasi (*running cost*) dan biaya pemeliharaan (*maintenace cost*). Sistem PLTMH tidak membutuhkan sumber energi bahan-bakar seperti halnya pada Genset yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerakannya. Untuk mengoperasikan PLTMH membutuhkan seorang operator untuk mengontrol sistem, namun ini jauh lebih

sederhana dan lebih murah dibandingkan mengoperasikan Genset. Sedangkan biaya pemeliharaan sistem PLTMH dibutuhkan untuk memperbaiki atau mengganti komponen yang haus/rusak untuk menjaga supaya sistem tetap handal. Biaya pemeliharaan ini bisa diestimasi sekitar 4~6% per tahun dari biaya pembangunan sistem [7].

Tabel 4. Estimasi biaya operasional PLTMH

NO	KOMPONEN	PLTMH (Rp)
1	Operator	18.000.000,00
2	Pemeliharaan	11.154.002,50
JUMLAH BIAYA OPERASIONAL		29.154.002,50
BIAYA OPERASIONAL PER kW/Th		173.535,73

Tabel 5. Total biaya pembangunan PLTMH/kW/th

NO	KOMPONEN BIAYA	PLTMH (Rp)
1	Capital cost /kW/Th	1.593.400,00
2	Running cost /kW/Th	208.242,88
TOTAL COST / kW/Th		1.801.642,88
HARGA BEP LISTRIK PER kWh		208,52

Maka harga BEP listrik PLTMH yang direncanakan adalah sekitar Rp. 208,52 /kWh, masih lebih murah dibandingkan harga listrik PLN yaitu Rp. 850,00/kWh (untuk paket ‘Bersinar’). Disamping harga BEP listrik sistem PLTMH lebih murah, juga ramah lingkungan karena tidak terjadi proses pembakaran bahan bakar. Disamping itu dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar solar.

Pada umumnya Net Present Value (NPV) digunakan sebagai analisa finansial untuk mengevaluasi suatu sistem layak untuk dikembangkan atau tidak. NPV investasi suatu proyek adalah nilai sekarang dari seluruh pemasukan di masa yang akan datang dikurangi nilai sekarang investasi dan seluruh pengeluaran di masa yang akan datang seperti biaya operasional.

- Cost = Biaya pembangunan PLTMH = Rp. 223.080.050,00
- F = Biaya operasional per tahun = Rp. 2.429.500
- A = nilai jual listrik per tahun = Rp. 102.816.000,0
- i = Tingkat suku bunga per tahun = 15 %
- n = Lama periode (umur ekonomis PLTMH) = 10 tahun

Maka :

$$NPV = \frac{102.816.000[(1+0,15)^{10} - 1]}{0,15.(1+0,15)^{10}} - \frac{2.429.500}{(1+0,15)^{10}} - 223.080.050,00$$

Jadi

$$NPV = \text{Rp. } 292.329.130$$

Dengan asumsi *life time* PLTMH 10 tahun, suku bunga 15%, maka dari hasil perhitungan menunjukkan nilai NPV system PLTMH sungai Oot adalah bernilai positif (Rp. 292.329.130). Hal ini berarti proyek tersebut layak untuk dikembangkan dengan harga BEP sekitar Rp.208,52 per kWh masih lebih murah dari harga per kWh PLN untuk tarif ‘Bersinar’ yaitu Rp. 850 per kWh.

Dengan cara perhitungan yang sama, maka hasil kajian potensi PLTMH yang lainnya didapatkan sebagai berikut:

Di Pura Goa Gajah



Gambar 8. Aliran air di Pura Goa Gajah

Dengan memanfaatkan energi aliran (dua kali terjunan yang ada) yang tersedia, seperti pada Gambar 8, yaitu pada debit 0,085 m3/det dan head efektif 13,64 meter, maka dapat dibangkitkan energi listrik yang secara teoritis mencapai 12 kiloWatt atau 15 kVA. Daya output PLTMH ini sangat sesuai dimanfaatkan untuk

catu daya penerangan areal Pura Samuan Tiga dan areal sekitarnya. Dari kajian finansial, nilai NPV-nya positif, berarti PLTMH ini layak untuk dikembangkan, dengan harga BEP listrik Rp. 612,-/kWh. Jadi, masih lebih murah dari harga per kWh PLN untuk tarif 'Bersinar' yaitu Rp. 850 per kWh.

Di Pura Samuan Tiga

Dengan memanfaatkan energi aliran yang tersedia, seperti pada Gambar 9 yaitu pada debit 0,1 m³/det dan head efektif 4,41 meter, maka dapat dibangkitkan energi listrik yang secara teoritis mencapai 3,07 kiloWatt atau 3,84 kVA. Daya output PLTMH ini sangat sesuai dimanfaatkan untuk catu daya penerangan areal Pura Goa Gajah dan areal wisata sekitarnya. Dari kajian finansial, nilai NPV-nya negatif, berarti PLTMH ini layak untuk dikembangkan, dengan harga BEP listrik Rp. 2.060,-/kWh. Jadi, lebih mahal dari harga per kWh PLN untuk tarif 'Bersinar' yaitu Rp. 850 per kWh.



Gambar 9. Aliran air di Pura Samuan Tiga

Di Saluran Irigasi Subak Taman-Bali



Gambar 10. Aliran air irigasi Subak Taman Bali

Potensi mikro hidro (PLTMH) di aliran irigasi Subak Taman Bali yang mempunyai empat kali terjunan, seperti pada Gambar 10, sangat potensial untuk dikembangkan. Dengan memanfaatkan energi aliran yang tersedia yaitu pada debit 0,589 m³/dt. (60 % dari 0,981 m³/det) dan head efektif 8,05 meter, maka dapat dibangkitkan energi listrik yang secara teoritis mencapai 32,98 kWatt atau 36,65 kVA. Dari kajian finansial, nilai NPV-nya positif, berarti PLTMH ini layak untuk dikembangkan, dengan harga BEP listrik Rp. 632,23,-/kWh. Jadi, masih lebih murah dari harga per kWh PLN untuk tarif 'Bersinar' yaitu Rp. 850 per kWh.

5. Kesimpulan

1. Bali memiliki cukup banyak potensi pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) skala kecil atau disebut *Picohydro* yang layak dikembangkan baik pada aliran sungai maupun pada aliran irigasi subak.
2. Dari kajian finansial, PLTMH tersebut layak untuk dikembangkan (NPV bernilai positif) sepanjang memiliki head minimum 10 meter, sedangkan kapasitas aliran lebih berpengaruh pada besarnya daya bangkitan PLTMH.
3. Namun dalam implementasinya, ada beberapa kendala dalam pemanfaatan sumber aliran tersebut sebagai pembangkit PLTMH, antara lain pemanfaatan lokasi tersebut untuk kepentingan lain seperti obyek pariwisata dan cagar alam budaya serta kurangnya pemahaman masyarakat tentang PLTMH, sehingga dibutuhkan sosialisasi kepada masyarakat.

Permakluman

Artikel ini disajikan sebagai tanggung jawab penulis atas Hibah Udayana Tahun 2008 yang telah diberikan.

Daftar Pustaka

- [1] Anonim, 2004, *Small Hydro Project Analysis*, Natural Resources Canada.
- [2] Anonim, 2005, *Profil Energi Bali 2005*, Dinas Pekerjaan Umum Sub Dinas Pertambangan, Denpasar
- [3] Evans R.A., 2003, *Waterpower*, URL: www.evans.eu.com
- [4] Klunne W., 2001, *Micro Hydropower Basics*, URL: <http://www.microhydro.com>
- [5] Anonim, 2004, *Small Hydro Project Analysis*, Natural Resources Canada.
- [6] Linsley, Ray, K, Joseph B.Franzini & Ir. Djoko Sasongko M.Sc, 1995, *Teknik Sumber Daya Air*, Jilid 2, Penerbit Erlangga, Jakarta
- [7] Maher P. and Smith N., 2001, *Pico Hydro For*

Village Power: A Practical Manual for Schemes up to 5 kW in Hilly Areas

- [8] Ketjoy P.L.N. and Rakwichian W., 2004, *Pico Hydro Power Generation Demonstration: Case Study of Stand Alone, Hybrid and Grid Connected System*
- [9] Streeter V.L. and Wylie E.B., 1975, *Fluid Mechanics*, 6th edition, McGraw-Hill Book Company, New York.